



Scientia Agropecuaria

Website: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo

Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro

Doses and splitting of nitrogen in two sowing densities of the flint yellow maize hybrid

Julián Chura^{1,*}; Juan Waldir Mendoza-Cortez¹ ; José Carlos de la Cruz²

¹ Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Av. La Molina, s/n, Código Postal 15024, La Molina, Lima, Perú.

² Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Av. La Molina, s/n, Código Postal 15024, La Molina, Lima, Perú.

Received November 14, 2018. Accepted April 29, 2019.

Resumen

Fue realizado un experimento con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra (62 500 y 69 444 plantas ha⁻¹), dosis de nitrógeno (180, 200 y 220 kg ha⁻¹) y su fraccionamiento (dos veces: estadios V₃ (50%) y V₇ (50%); y tres veces: estadios V₃ (20%), V₇ (40%) y V₁₂ (40%)), sobre el desempeño agronómico del maíz amarillo duro 'EXP-05'. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, en arreglo factorial 2x3x2, con cuatro repeticiones. No hubo efecto significativo de las interacciones de los factores sobre el crecimiento y componentes del rendimiento. Por otro lado, hubo efecto individual de las dosis de nitrógeno y de la densidad poblacional sobre el rendimiento en grano y diámetro de tallo, respectivamente. El mayor rendimiento en grano (10,639 t ha⁻¹) fue obtenido con 200 kg ha⁻¹ de N y el mayor diámetro de tallo (2,42 cm) con la menor densidad poblacional (62 500 plantas ha⁻¹). A pesar que la interacción de los factores evaluados no fue significativa, el mayor rendimiento en grano (10,939 t ha⁻¹) fue obtenido con 200 kg ha⁻¹ de N, fraccionado en los estadios V₃ (50%) y V₇ (50%) y utilizando 69 444 plantas ha⁻¹.

Palabras clave: densidad poblacional; fertilización nitrogenada; rendimiento; *Zea mays* L.

Abstract

An experiment was conducted in La Molina, Lima, Peru, with the objective of evaluate the effect of planting densities (62 500 and 69 444 plants ha⁻¹), nitrogen doses (180, 200 and 220 kg ha⁻¹) and nitrogen splitting (two times: stages V₃ (50%) and V₇ (50%); and three times: stages V₃ (20%), V₇ (40%) and V₁₂ (40%)), on the agronomic performance of the flint yellow corn hybrid EXP-05. The experiment used a completely random block design, in 2x3x2 factorial arrangement, with four replications. There was not significant effect of the interactions of the evaluated factors on growth and yield components. On the other hand, there was an individual effect of nitrogen doses and planting density on grain yield and stem diameter, respectively. The highest grain yield (10.639 t ha⁻¹) was obtained with 200 kg ha⁻¹ of N and the largest stem diameter (2.42 cm) with the lowest planting density (62 500 plants ha⁻¹). Although the interaction of the evaluated factors was not significant, the highest grain yield (10.939 t ha⁻¹) was obtained with 200 kg ha⁻¹ of N, splitting in two stages which are V₃ (50%) and V₇ (50%) and using 69 444 plants ha⁻¹.

Keywords: Population density; nitrogen fertilization; yield; *Zea mays* L.

1. Introducción

El maíz tiene una gran importancia económica, siendo considerado uno de los principales cereales cultivados en el mundo, junto al arroz y trigo (Ranum *et al.*, 2014). Dentro de los tipos de maíz producidos, el

maíz amarillo duro tiene especial relevancia, en razón de ser utilizado como insumo para la elaboración de alimentos balanceados para la industria ganadera, avícola y porcina en diversas partes del mundo, debido a que proporciona una mayor conver-

How to cite this article:

Chura, J.; Mendoza-Cortez, J.W.; de la Cruz, J.C. 2019. Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro. Scientia Agropecuaria 10(2): 241 – 248.

* Corresponding author

E-mail: chura@lamolina.edu.pe (J. Chura).

© 2019 All rights reserved

DOI: [10.17268/sci.agropecu.2019.02.09](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.09)

sión de materia seca en carne, leche y huevos en relación a otros cereales (Dei, 2017).

Entre los diversos factores que contribuyen para la obtención de altos rendimientos en maíz, tiene destaque la fertilización del cultivo. Dentro de los nutrientes que necesita el maíz, el nitrógeno (N) es el más acumulado (Fallas *et al.*, 2011; Bender *et al.*, 2013; Boyer, 2013; Martins *et al.*, 2017), debido a que participa en una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos que son importantes en el desarrollo de la planta (Barker y Bryson, 2007; Hawkesford *et al.*, 2012; Demari *et al.*, 2016), y su aplicación en dosis adecuadas posibilita aumentos significativos del rendimiento (cuando otros factores limitantes de la producción son controlados), sin generar impactos ambientales por la aplicación excesiva de dicho nutriente (Sadeghi *et al.*, 2018).

Por otro lado, existe dificultad en recomendar dosis apropiadas de N por las diversas transformaciones que sufre en el suelo (mineralización, nitrificación, desnitrificación, inmovilización, volatilización y lixiviación) debido a factores climáticos y bióticos (Arnon, 1975; Barker y Bryson, 2007), y que afectan, de forma significativa, la eficiencia de utilización de ese nutriente por la planta. Según diversos autores, esa eficiencia es inferior al 50% (Oktem *et al.*, 2010; Hawkesford *et al.*, 2012). Así, el fraccionamiento de N de acuerdo, principalmente, al ritmo de absorción y tipo de suelo, es una práctica importante que mejora la eficiencia de utilización de ese nutriente, evitando su pérdida para el ambiente, con efectos sobre la producción del cultivo (Okumura *et al.*, 2011).

Varios trabajos muestran la importancia, tanto de la fertilización nitrogenada como de su fraccionamiento, sobre diversos componentes de la producción, sobre la eficiencia de uso de dicho nutriente y sobre la absorción de otros nutrientes, en diferentes condiciones de cultivo del maíz (Araújo *et al.*, 2004; Hammad *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2012; Kandil, 2013; Iqbal *et al.*, 2014; Modhej *et al.*, 2014; Selassie, 2015; Biswas y Ma, 2016; Sharifi y Namvar, 2016; Woldesenbet y Haileyesus, 2016; Remache *et al.*, 2017; Abera *et al.*, 2017; Abebe y Feyisa, 2017; Amado *et al.*, 2017).

La densidad poblacional, es otro factor que afecta la producción de los cultivos, ya que es la herramienta más efectiva para mejorar, principalmente, la captura de luz y el aprovechamiento de agua y nutrientes (Sangoi, 2000; Sangoi *et al.*, 2002). El uso de una densidad óptima en maíz, permitirá maximizar la interceptación de la radiación

fotosintéticamente activa, durante el periodo crítico, para la definición del rendimiento, posibilitando alcanzar mayores índices de cosecha. Por otro lado, densidades más altas al óptimo, puede dar lugar a una fuerte competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes, afectando el crecimiento y diferentes componentes del rendimiento (Sangoi, 2000; Argenta *et al.*, 2001; Sangoi *et al.*, 2002).

En ese contexto, la cantidad de N y su fraccionamiento y la interacción con la densidad poblacional, son considerados por diversos autores como factores muy importantes para alcanzar altos rendimientos en el maíz (Sallah *et al.*, 2009; Melo *et al.*, 2011; Ciampitti *et al.*, 2013; Lana *et al.*, 2014; Mahdi y Ismail, 2015; Trachsel *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2017). En ese sentido, es necesario realizar más estudios evaluando dichos factores, en razón de haber carencia de informaciones para las condiciones de la costa peruana.

Por lo expuesto, el presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto del fraccionamiento de diferentes dosis de nitrógeno y densidades de siembra, sobre el desempeño agronómico del híbrido de maíz amarillo duro EXP-05.

2. Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en el campo experimental 'Santa Rosa' de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado a 12°05'06" (latitud), 76° 07'07" (longitud) y con altitud de 251 msnm.

Durante el periodo experimental, los promedios de la temperatura máxima y mínima fueron, respectivamente, 23,4 y 15,5 °C; de la humedad relativa máxima y mínima fueron 93,4 y 71,2%; y el promedio de la precipitación pluvial fue de 1,1 mm.

Antes de la instalación del experimento, se tomaron muestras de suelo en la profundidad de 0 a 20 cm, y según el análisis químico y físico tenía: 7,59 de pH (H₂O), 14,3 g kg⁻¹ de materia orgánica; 18,6 y 268 mg kg⁻¹ de P_(olsen) y K_(acetato de amonio), respectivamente; 8,85; 2,07; 0,57; 0,19; 0,0 y 11,68 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, H⁺+Al³⁺ y CIC, respectivamente; 100% de saturación por bases del suelo y 480, 320 y 200 g kg⁻¹ de arena, limo y arcilla, respectivamente.

Fue utilizado el diseño de bloques completos al azar, en esquema factorial 2x3x2, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron constituidos por los factores densidad de siembra (62 500 y 69 444 plantas ha⁻¹), dosis de N (180, 200 y 220 kg ha⁻¹) y fraccionamiento del mismo en diferentes estadios vegetativos (dos veces: 50% en V₃ y 50% en V₇; y tres veces: 20% en V₃, 40% en

V₇ y 40% en V₁₂). Fue utilizado como fuente de nitrógeno la urea. Según el análisis del suelo, fueron aplicados en todas las parcelas, a la siembra, 90 y 80 kg de P₂O₅ y K₂O, respectivamente, en la forma de fosfato diamónico y cloruro de potasio.

Las unidades experimentales estuvieron constituidas por seis hileras de 7,2 m de largo. Para la evaluación de las características, fueron utilizadas las plantas ubicadas en los 4 m centrales de las cuatro hileras centrales de cada unidad experimental.

Se utilizó el híbrido de maíz amarillo duro EXP-05, proveniente del Programa de Investigación en Maíz de la UNALM. La siembra fue hecha manualmente, en sucesión al cultivo de maíz, siendo realizada el mes de setiembre de 2011. Fueron colocadas cuatro semillas por golpe, siendo que al final fueron dejadas dos semillas por golpe después del raleo. El distanciamiento entre hileras fue de 0,80 m, y entre plantas de 0,40 m (62 5000 plantas ha⁻¹) y 0,36 m (69 444 plantas ha⁻¹), conforme la densidad de siembra evaluada. Fue realizado el aporque después del segundo fraccionamiento del nitrógeno. El riego fue realizado por gravedad, aplicándose seis veces durante el período experimental. También, durante todo el ciclo del cultivo, el control de diferentes malezas (*Elytrigia repens* y *Cyperus rotundus*, principalmente) fue hecho manualmente, y el control de plagas fue realizado con productos químicos registrados para el cultivo.

La cosecha del maíz fue realizada a los 178 días después de la siembra, cuando los granos estaban fisiológicamente maduros. Primeramente, en diez plantas tomadas al azar de cada parcela útil, fueron evaluadas: a) altura de planta (m): se tomaron medidas desde el cuello de la planta hasta el punto de unión de la panoja con el tallo; b) altura de inserción de mazorca (m): se midió desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción donde nace la mazorca superior; c) diámetro de tallo (cm): se midió el perímetro en la mitad del segundo entrenudo emergente del suelo. Seguidamente, en diez mazorcas tomadas al azar de cada parcela útil, fueron evaluadas: a) diámetro de mazorca (cm): en la parte central de las mazorcas, fue realizada la medición del diámetro utilizando el calibrador 'vernier'; b) longitud de mazorca (cm): fue obtenido midiéndose la distancia entre la base y el ápice de las mazorcas; c) número de hileras de la mazorca: fueron contadas la cantidad de hileras de granos de las mazorcas; d) número de granos por hilera de la mazorca: se contó el número de granos por cada hilera de las mazorcas; e) peso de

grano de mazorca (g): una vez desgranadas las mazorcas, fue obtenido el peso de grano ajustado al 14% de humedad; f) peso de 100 granos (g): se tomaron dos muestras aleatorias de 100 granos sanos y enteros, provenientes de las mazorcas desgranadas y se registró su peso ajustado al 14% de humedad; g) peso de tusa de mazorca (g): se pesó la tusa desgranada de las mazorcas; h) rendimiento en grano (kg ha⁻¹): fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$R = 10000 \times B \times D \times Pcf \times Fh \times Pc / A,$$

donde *R*: rendimiento; *B*: efecto de bordo (0,971); *D*: porcentaje de desgrane; *Pcf*: factor de corrección por fallas; *Fh*: factor de corrección por humedad al 14%; *Pc*: rendimiento por parcela útil en kg; *A*: área de la parcela útil en m². También, fue evaluado los días a la floración femenina, que fue obtenido cuando más del 50% de las plantas que conformaban la parcela útil habían emitido sus pistilos.

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza y los promedios fueron comparados por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad, utilizando el software SAS.

3. Resultados y discusión

No fueron constatados efectos significativos de los factores densidad de siembra, dosis de N y su fraccionamiento, tanto en interacción como en forma individual, sobre la altura de planta, altura de inserción de mazorca, días a la floración femenina, peso de grano de mazorca, peso de tusa de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera de mazorca y del peso de 100 granos (Tabla 1).

A pesar que no hubo efecto significativo de la interacción de los factores evaluados, los mayores rendimientos de grano, 10,939 y 10,853 t ha⁻¹, fueron obtenidos con 200 kg ha⁻¹ de N cuando se fraccionó dos y tres veces, respectivamente, en la mayor población de plantas utilizada (69444 plantas ha⁻¹) (Tabla 2).

Puede verificarse que el fraccionamiento del N por tres veces, no proporciona ventajas con relación al fraccionamiento por dos veces, posibilitando la economía de mano de obra y reducción en los costos de producción. Bastos et al. (2008), evaluando el fraccionamiento (dos veces: 1/2 a la siembra y 1/2 en V₆; y tres veces: 1/3 a la siembra, 1/3 en V₄ y 1/3 en V₆) de diferentes dosis de N (0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹), en dos épocas de cultivo de maíz (siembra directa), recomiendan fraccionar el N como

máximo dos veces, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas presentes. Por otro lado, [Li et al. \(2019\)](#) constataron que el factor densidad juega un rol fundamental en la obtención de altas productividades en el maíz, estando el óptimo en 8,7 plantas m⁻², siendo superior a la mayor densidad evaluada (6,9 plantas m⁻²) en el presente estudio y con el cual se obtuvo el mayor rendimiento. Consecuentemente, existe potencial para maximizar el número de plantas por hectárea y así obtener una mayor producción.

Conforme [Argenta y Silva \(1999\)](#), la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz, en muchas partes del mundo, está basado en el contenido de materia orgánica del suelo, expectativa de producción e histórico del área, sin embargo, existen otros factores que pueden afectar la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada, teniendo destaque la disponibilidad inicial de nitrógeno en el suelo, el tipo de secuencia de cultivos en sucesión y el sistema de rotación de cultivos. Adicionalmente, otro factor que puede impactar en la respuesta a la fertilización nitrogenada es el tipo de suelo utilizado. En ese sentido, [Feng et al. \(2019\)](#) evaluando diferentes dosis de N (0, 168, 240, 270 y 312 kg ha⁻¹) en diferentes tipos de suelo (franco, arcilloso y arenoso) durante 4 años de estudio, verificaron que el mayor y menor rendimiento del maíz fue obtenido en suelos tipo franco y arenoso, respectivamente, concluyendo que el tipo de suelo juega un papel importante en la respuesta a la fertilización nitrogenada en el maíz.

En ese sentido, la falta de respuesta a la aplicación del N en este trabajo, tanto en forma individual como en interacción con la densidad de plantación y de su fraccionamiento, sobre el crecimiento, precocidad y diversas variables que componen el rendimiento, se debe, probablemente, a que el N residual dejado por el cultivo anterior en el área experimental, aliado al contenido de materia orgánica del suelo, fue suficiente para suplir la demanda de ese nutriente por el híbrido de maíz amarillo duro EXP-05. Así también, en razón de la baja eficiencia de utilización de ese nutriente por la planta, debido a diversos procesos que sufre en el suelo por efecto de las condiciones climáticas presentes durante el periodo experimental, pueden haber contribuido para obtener ese resultado.

En las mismas condiciones edafoclimáticas donde fue realizado el presente trabajo, [Sotomayor et al. \(2017\)](#) también no verificaron efecto significativo de diferentes

dosis de N (0, 120 y 240 kg ha⁻¹) sobre el crecimiento (altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas), precocidad (días a la floración femenina y masculina) y producción del maíz amarillo duro variedad 'Experimental 5', debido, según los autores, a la influencia de la compactación subsuperficial del suelo (causado por el uso continuo de maquinaria pesada en labores de labranza y aporque), afectando severamente el normal desarrollo radicular y, consecuentemente, la absorción del N.

Además, conforme [Wasaya et al. \(2018\)](#), los diferentes métodos de labranza utilizados pueden tener impacto sobre diversas características físicas del suelo, pudiendo disminuir la eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes, hecho que podría explicar también, en parte, la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada del presente estudio, en vista que el terreno donde fue realizado la parte experimental está siendo preparado constantemente (para el cultivo de diversas especies, incluido el maíz), utilizando diversos implementos agrícolas. Igualmente, [Losak et al. \(2011\)](#), en dos épocas de cultivo, evaluando dosis crecientes de N (0, 120 y 240 kg ha⁻¹), no verificaron efectos significativos sobre el rendimiento ni sobre la absorción de micronutrientes en la planta y en el grano de la mazorca, debido a que los suelos tenían una alta fertilidad.

Diferentemente de los resultados verificados en el presente trabajo, [Hammad et al. \(2011\)](#), [Walsh et al. \(2012\)](#), [Iqbal et al. \(2014\)](#), [Sharifi y Nambar \(2016\)](#), [Abebe y Feyisa \(2017\)](#) y [Amado et al. \(2017\)](#), obtuvieron efectos positivos de diferentes dosis de N y de su fraccionamiento en diferentes estadios de desarrollo del maíz, sobre diferentes componentes del rendimiento y sobre la eficiencia de uso del N. Así también, al contrario del presente trabajo, diversos autores constataron efectos positivos de la interacción entre la aplicación de N y diferentes densidades poblacionales de maíz sobre diversas variables que componen el rendimiento, e inclusive sobre parámetros relacionados a problemas ambientales ([Sallah et al., 2009](#); [Melo et al., 2011](#); [Lana et al., 2014](#); [Mahdi y Ismail, 2015](#); [Trachsel et al., 2015](#); [Xu et al., 2017](#)). Para las variables rendimiento en grano y diámetro de tallo no se verificaron efectos significativos de las interacciones de los factores evaluados, sin embargo, a diferencia de las otras variables evaluadas, si se constató efecto individual de los factores dosis de N (sobre el rendimiento en grano) y densidad de siembra (sobre el diámetro de tallo) ([Tabla 1](#)).

Tabla 1

Valores de F, significancias y coeficientes de variación (CV) para el rendimiento en grano (RG), altura de planta (AP), altura de inserción de mazorca (AM), diámetro de tallo (DT), días a la floración femenina (DFF), peso de grano de mazorca (PGM), peso de tusa de la mazorca (PTM), longitud de la mazorca (LM), diámetro de la mazorca (DM), número de hileras de la mazorca (NHM), número de granos por hileras de la mazorca (NGHM) y peso de 100 granos (P_{100g}), en función de la densidad de siembra, dosis y fraccionamiento del nitrógeno

Fuente de variación	RG	AP	AM	DT	DFF	PGM	PTM	LM	DM	NHM	NGHM	P_{100g}
Densidad de Siembra (D)	1,63 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,69 ^{ns}	4,83*	1,88 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Dosis de Nitrógeno (N)	4,19*	1,25 ^{ns}	1,38 ^{ns}	2,58 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Fraccionamiento de N (F)	0,42 ^{ns}	1,92 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,58 ^{ns}	7x10 ⁻⁴ ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}
D x N	0,04 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}
D x F	1,76 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,93 ^{ns}
N x F	0,02 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,87 ^{ns}	3,11 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,06 ^{ns}
D x N x F	0,24 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,60 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CV (%)	11,16	3,58	6,23	4,59	0,99	9,05	9,94	3,88	2,40	3,54	3,67	5,59

* Significativo al 5% de probabilidad por la prueba F; ^{ns} no significativo.

Tabla 2

Promedios para el rendimiento en grano (RG), altura de planta (AP), altura de inserción de mazorca (AM), diámetro de tallo (DT), días a la floración femenina (DFF), peso de grano de mazorca (PGM), peso de tusa de la mazorca (PTM), longitud de la mazorca (LM), diámetro de la mazorca (DM), número de hileras de la mazorca (NHM), número de granos por hileras de la mazorca (NGHM) y peso de 100 granos (P_{100g}), en función de la densidad de siembra, dosis y fraccionamiento del nitrógeno

Tratamientos	RG t ha ⁻¹	AP m	AM cm	DT cm	DFF días	PGM g	PTM g	LM cm	DM cm	NHM unidad	NGHM unidad	P_{100g} g
Densidad de Siembra (D)												
D ₁ = 65 200 plantas ha ⁻¹	9,983	3,059	1,976	2,419 A*	96,083	187,646	38,546	17,414	5,103	14,042	34,546	40,257
D ₂ = 69 444 plantas ha ⁻¹	10,40	3,086	2,023	2,349 B	96,458	185,725	38,292	17,168	5,137	14,167	34,117	39,726
Dosis de Nitrógeno (N)												
N ₁ = 180 kg ha ⁻¹	9,533 B	3,038	1,956	2,362	96,250	181,338	37,181	17,310	5,134	14,125	34,238	40,047
N ₂ = 200 kg ha ⁻¹	10,639 A	3,096	2,017	2,355	96,625	188,656	39,725	17,293	5,094	14,063	34,288	39,808
N ₃ = 220 kg ha ⁻¹	10,406 A	3,085	2,025	2,435	95,938	190,063	38,350	17,270	5,132	14,125	34,469	40,118
Fraccionamiento de N (F)												
F ₁ = 50% (V ₃) [#] y 50% (V ₆)	10,087	3,051	1,988	2,391	96,167	186,750	37,938	17,227	5,107	13,958	34,267	39,954
F ₂ = 20% (V ₃), 40% (V ₇) y 40% (V ₁₂)	10,299	3,095	2,011	2,377	96,375	186,621	38,900	17,354	5,133	14,250	34,396	40,028
D x N x F												
D ₁ N ₁ F ₁	8,907	2,998	1,935	2,379	95,50	189,250	36,250	17,600	5,050	13,75	35,275	39,861
D ₁ N ₁ F ₂	9,853	3,078	1,961	2,360	96,25	172,250	39,250	17,347	5,130	14,50	34,100	40,447
D ₁ N ₂ F ₁	10,044	3,047	1,951	2,446	96,75	185,375	38,250	17,190	5,080	13,75	33,650	39,734
D ₁ N ₂ F ₂	10,720	3,124	2,006	2,331	96,25	196,875	41,250	17,625	5,122	14,25	34,625	40,322
D ₁ N ₃ F ₁	10,028	3,049	1,966	2,491	95,50	190,500	38,250	17,157	5,130	14,25	34,850	40,128
D ₁ N ₃ F ₂	10,345	3,058	2,037	2,505	96,25	191,625	38,025	17,562	5,105	13,75	34,775	41,047
D ₂ N ₁ F ₁	9,948	3,054	1,989	2,384	97,00	179,500	36,500	16,877	5,130	14,00	33,375	40,438
D ₂ N ₁ F ₂	9,425	3,021	1,939	2,326	96,25	184,350	36,725	17,415	5,225	14,25	34,200	39,443
D ₂ N ₂ F ₁	10,939	3,108	2,116	2,303	96,25	183,625	39,125	17,180	5,090	13,75	34,075	39,529
D ₂ N ₂ F ₂	10,853	3,103	1,994	2,338	97,25	188,750	40,275	17,175	5,085	14,50	34,800	39,648
D ₂ N ₃ F ₁	10,654	3,049	1,969	2,344	96,00	192,250	39,250	17,360	5,162	14,25	34,375	40,033
D ₂ N ₃ F ₂	10,598	3,183	2,129	2,399	96,00	185,875	37,875	17,000	5,132	14,25	33,875	39,262

[#] Estadio vegetativo V₃ (plantas con tres hojas), V₆ (plantas con seis hojas) y V₁₂ (plantas con doce hojas)

* Letras mayúsculas iguales en la columna no difieren, entre sí, por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.

El mayor rendimiento en grano obtenido con 200 kg h⁻¹ de N (10,639 kg ha⁻¹) fue superior al constatado cuando se utilizó 180 kg ha⁻¹ de N (9,533 kg ha⁻¹), sin embargo, fue estadísticamente similar al obtenido con 220 kg ha⁻¹ de N (10,406 kg ha⁻¹). Modhej *et al.* (2014) obtuvieron una mayor productividad de grano de 10,610 kg ha⁻¹, pero con diferente dosis de N (240 kg ha⁻¹). Selassie (2015) evaluando dosis de N entre 0 y 200 kg ha⁻¹, verificó efecto significativo sobre la mayoría de los componentes del rendimiento, obteniendo mayor rendimiento de grano (5911,19 kg ha⁻¹) con 200 kg ha⁻¹ de N, siendo inferior al obtenido en el presente trabajo. Así también, Araújo *et al.* (2004) obtuvieron mayor rendimiento de grano (11 203,3 kg ha⁻¹) con la mayor dosis de N evaluada (240 kg ha⁻¹). Diferentemente, en dos ciclos de cultivo, Kandil (2013) obtuvo mayor rendimiento promedio de granos (6,480 kg ha⁻¹) con la dosis de 429 kg ha⁻¹ de N. La diferencia entre las dosis de N utilizadas para obtener altos rendimientos puede ser debido a la diferencia en el material vegetal utilizado y a las condiciones edafoclimáticas donde fueron realizados los trabajos. Con relación al diámetro de tallo, se verificó que en la menor densidad poblacional (62500 plantas ha⁻¹) se obtuvo plantas con diámetro mayor (2,418 cm) al constatado en plantas que conforman la mayor densidad poblacional (69444 plantas ha⁻¹) (2,349 cm). Diversos autores también verificaron la reducción del diámetro de tallo cuando se aumenta la población de plantas (Demétrio *et al.*, 2008; Farinelli *et al.*, 2012). Este hecho puede ser debido a que las plantas que crecieron en una baja densidad poblacional no sufrieron de forma expresiva con la competencia intraespecífica, aprovechando de mejor manera los recursos disponibles en el medio (agua luz y nutrientes) para la producción de materia seca y su adecuada distribución en todas las partes de la planta, incluido el tallo. Por otro lado, el aumento del número de plantas por encima de un óptimo (determinado por el genotipo y por las condiciones ambientales), puede producir el alargamiento de los entrenudos ('ahilado') con incrementos en la altura de planta y altura de inserción de mazorca, pero disminuyendo el diámetro de tallo, habiendo, consecuentemente, el riesgo de la 'tumbada' o quiebra de tallos (Sangoi *et al.*, 2002), hecho que no fue verificado en el presente trabajo.

ORCID

J.W. Mendoza-Cortez  <https://orcid.org/0000-0002-2158-0943>

4. Conclusiones

El mayor rendimiento en grano (10,639 t ha⁻¹) del híbrido de maíz amarillo duro EXP-05, fue obtenido con 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno y el mayor diámetro de tallo con la menor densidad poblacional (62500 plantas ha⁻¹). A pesar de no haber efecto significativo de la interacción entre la densidad poblacional, dosis de nitrógeno y su fraccionamiento, el mayor rendimiento en grano (10,939 t ha⁻¹) del híbrido de maíz amarillo duro EXP-05, fue obtenido con la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fraccionado en los estadios V₂ (50%) y V₇ (50%) y utilizando una población de 69 444 plantas ha⁻¹. Se recomienda realizar más estudios utilizando isotopos estables de nitrógeno (¹⁵N), en las condiciones edafoclimáticas de la costa peruana, sobre la eficiencia de absorción y redistribución del nitrógeno y sus efectos sobre el crecimiento y productividad del maíz amarillo duro, asociado a mayores densidades de plantación.

Referencias bibliográficas

- Abebe, Z.; Feyisa, H. 2017. Effects of nitrogen rates and time of application in yield of maize: rainfall variability influenced time of N application. *International Journal of Agronomy* ID 1545280.
- Abera, T.; Debele, T.; Wegary, D. 2017. Effects of varieties and nitrogen fertilizer on yield and yield components of maize on farmers field in mid altitude areas of western Ethiopia. *International Journal of Agronomy* ID 4253917.
- Amado, T.J.C.; Villalba, E.O.H.; Bortolotto, R.P.; Nora, D.D.; Bragagnolo, J.; León, E.A.B. 2017. Yield and nutritional efficiency of corn in response to rates and splits of nitrogen fertilization. *Revista Ceres* 64(4): 351-359.
- Araújo, L.A.N.; Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. 2004. Adubação nitrogenada na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(8): 771-777.
- Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Sangoi, L. 2001. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Ciência Rural* 31(6): 1075-1084.
- Argenta, G.; Silva, P.R.F. 1999. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. *Ciência Rural* 29(4): 745-754.
- Arnon, I. 1975. Mineral nutrition of maize. *International Potash Institute*, Bern, Suiza. 452 pp.
- Bastos, E.A.; Cardoso, M.J.; Melo, F.B.; Ribeiro, V.Q.; Andrade Júnior, A.S. 2008. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. *Revista Ciência Agronômica* 39(2): 275-280.
- Barker, A.V.; Bryson, G.M. 2007. Nitrogen. In: Barker, A.V.; Pilbeam, D.J. (Comp.). *Handbook of plant nutrition*. Taylor & Francis Group, Boca Ratón, Florida, USA. pp. 21-50.

- Bender, R.R.; Haegele, J.W.; Ruffo, M.L.; Below, F.E. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal* 105(1): 161-170.
- Biswas, D.K.; Ma, B.L. 2016. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science* 96: 392-403.
- Boyer, M. J. 2013. Dry matter and nutrient accumulation in corn hybrids from the 1960's to 2000's. Graduate Theses and Dissertations, Iowa State University, Iowa, USA. 68 pp.
- Ciampitti, I.A.; Camberato, J.J.; Murrel, S.T.; Vyn, T.J. 2013. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agronomy Journal* 195(3): 783-795.
- Dei, H.K. 2017. Assessment of maize (*Zea mays*) as feed resource for poultry. In: Manafi, M. (Comp.). *Poultry science*. IntechOpen. pp. 1-32.
- Demari, G.H.; Carvalho, I.R.; Nardino, M.; Szareski, V.J.; Dellagostin, S.M.; Rosa, T.C.; Follmann, D.N.; Monteiro, M.A.; Basso, C.J.; Pedó, T.; Aumonde, T.Z.; Zimmer, P. D. 2016. Importance of nitrogen in maize production. *International Journal of Current Research* 8(8): 36629-36634.
- Demétrio, C.S.; Fornasieri Filho, D.; Cazetta, J.O.; Cazetta, D.A. 2008. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43(12): 1691-1697.
- Fallas, R.; Bertsch, F.; Echandi, C.; Henríquez, C. 2011. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense* 35(2): 33-47.
- Farinelli, R.; Penariol, F.G.; Fornasieri Filho, D. 2012. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. *Científica* 40(1): 21-27.
- Feng, G.Z.; Wang, Y.; Yan, L.; Zhou, X.; Wang, S.J.; Gao, Q.; Mi, G.H.; Yu, H.; Cui, Z.L. 2019. Effects of nitrogen and three soil types on maize (*Zea mays* L.) grain yield in northeast China. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(2): 4229-4243.
- Hammad, H.M.; Ahmad, A.; Wajid, A.; Akhter, J. 2011. Maize response to time and rate of nitrogen application. *Pakistan Journal of Botany* 43(4): 1935-1942.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; LamberS, H.; Schjoerring, J.; Skrumager Moller, I.; White, P. 2012. Function of macronutrients. In: Marschner, P. (Comp.). *Marschner's mineral nutrition*. 3. ed. Elsevier Ltd., Oxford, UK. pp.135-178.
- Iqbal, S.; Khan, H.Z.; Ehsanullah, Zamir, M.S.I.; Marral, M.W.R.; Javeed, H.M.R. 2014. The effects of nitrogen fertilization strategies on the productivity of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Zemdirbyste - Agriculture* 101(3): 249-256.
- Kandil, E.E.E. 2013. Response of some maize hybrids (*Zea mays* L.) to different levels of nitrogenous fertilization. *Journal of Applied Sciences Research* 9(3): 1902-1908.
- Lana, N.C.; Rampim, L.; Ohland, T.; Fávero, F. 2014. Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in an Oxisol. *Revista Ceres* 61(3): 424-433.
- Li, Y.; Li, Z.; Cui, S.; Chang, S.X.; Jia, C.; Zhang, Q. 2019. A global synthesis of the effect of water and nitrogen input on maize (*Zea mays*) yield, water productivity and nitrogen use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology* 268: 136-145.
- Losak, T.; Hlusek, J.; Martinec, J.; Jandak, J.; Szostkova, M.; Filipcik, R.; Manasek, J.; Prokes, K.; Peterka, J.; Varga, L.; Ducsay, L.; Orosz, F.; Martensson, A. 2011. Nitrogen fertilization does not affect micronutrient uptake in grain maize (*Zea mays* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 61(6): 543-550.
- Mahdi, A.H.A.; Ismail, S.K.A. 2015. Maize productivity as affected by plant density and nitrogen fertilizer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 4(6): 870-877.
- Martins, K.V.; Dourado-Neto, D.; Reichardt, K.; Favarin, J.L.; Sartori, F.F.; Felisberto, G.; Mello, S.C. 2017. Maize dry matter production and macronutrient extraction model as a new approach for fertilizer rate estimation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89: 705-716.
- Melo, F.B.; Corá, J.E.; Cardoso, M.J. 2011. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica* 42(1): 27-31.
- Modhej, A.; Kaihani, A.; Lack, S. 2014. Effect of nitrogen fertilizer on grain yield and nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) hybrids under irrigated conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84(3): 531-536.
- Oktem, A.; Oktem, A.G.; Emeklier, H.Y. 2010. Effect of nitrogen on yield and some quality parameters of sweet corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 832-847.
- Okumura, R.S.; Mariano, D.C.; Zaccheo, P.V.C. 2011. Use of nitrogen fertilizer in corn: a review. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science* 4(2): 226-244.
- Ranum, P.; Peña-Rosas, J.P.; Garcia-Casal, M.N. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1312: 105-112.
- Remache, M.; Carrillo, M.; Mora, R.; Durango, W.; Morales, F. 2017. Absorción de macronutrientes y eficiencia del N, en híbrido promisorio de maíz. *Patricia Pilar, Ecuador. Agronomía Costarricense* 41(2): 103-115.
- Sadeghi, S.M.; Noorhosseini, S.A.; Damalas, C.A. 2018. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: the case of

- Lahijan, Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 95: 48-55.
- Sallah, P.Y.K.; Mukakalisa, S.; Nyombayire, A.; Mutanyagwa, P. 2009. Response of two maize varieties to density and nitrogen fertilizer in the highland zone of Rwanda. Journal of Applied Biosciences 20: 1194-1202.
- Sangoi, L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. Ciência Rural 31(1): 159-168.
- Sangoi, L.; Almeida, M.L.; Silva, P.R.F.; Argenta, G. 2002. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. Bragantia 61(2): 101-110.
- Selassie, Y.G. 2015. The effect of N fertilizer rates on agronomic parameters, yield components and yields of maize grown on alfisols of North-Western Ethiopia. Environmental Systems Research 4(21): 1-7.
- Sharifi, R.S.; Namvar, A. 2016. Effects of time and rate of nitrogen application on phenology and some agronomical traits of maize (*Zea mays* L.). Biologija 62(1): 35-45.
- Sotomayor, R.; Chura, J.; Calderón, C.; Sevilla, R.; Blas, R. 2017. Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra. Anales Científicos 78(2): 232-240.
- Trachsel, S.; San Vicente, F.M.; Suarez, E.A.; Rodriguez, C.S.; Atlin, G.N. 2016. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Science 154: 189-704.
- Walsh, O.; Raun, W.; Klatt, A.; Solie, J. 2012. Effect of delayed nitrogen fertilization on maize (*Zea mays* L.) grain yields and nitrogen use efficiency. Journal of Plant Nutrition 35(4): 538-555.
- Wasaya, A.; Tahir, M.; Yasir, T.A.; Akram, M.; Farooq, O.; Sarwar, N. 2018. Soil physical properties, nitrogen uptake and grain quality of maize (*Zea mays* L.) as affected by tillage systems and nitrogen application. Italian Journal of Agronomy 13(1197): 324-331.
- Woldesenbet, M.; Haileyesus, A. 2016. Effect of nitrogen fertilizer on growth, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Decha district, Southwestern Ethiopia. International Journal of Research - Granthaalayah 4(2): 95-100.
- Xu, C.; Huang, S.; Tian, B.; Ren, J.; Meng, Q.; Wang, P. 2017. Manipulating planting density and nitrogen fertilizer application to improve yield and reduce environmental impact in Chinese maize production. Frontiers in Plant Science 8(1234).